



Renny Räikkönen

# Siltanosturin älykäs kunnonvalvontajärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

25.2.2024

# Tiivistelmä

Tekijä: Renny Räikkönen  
Otsikko: Siltanosturin älykäs kunnonvalvontajärjestelmä  
Sivumäärä: 32 sivua  
Aika: 25.2.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Kehityspäällikkö Aki Vuorinen  
Lehtori Jarmo Tapio

---

Opinnäytetyössä rakennettiin logiikalla ohjelmoitu nosturin ohjaus, joka kerää nosturin käytöstä kunnonvalvonnan kannalta hyödyllisiä käyttötietoja, joiden perusteella huollot, tarkastukset ja komponenttien vaihdot voidaan suorittaa optimaalisesti. Työ toteutettiin KP-ServicePartner Oy:lle, jonka toimialan perusta on nostureiden myynti ja huolto.

Työssä esitettiin kunnonvalvonnan kannalta merkittävät laitteet ja arvot, sekä perehdyttiin standardien määritelmään tarkastusvälien määrittämisestä. Työssä tutustuttiin myös nosturivalmistajien ohjeisiin komponenttien raja-arvoista.

Työn tuloksena valmistui WorkMate 2.0 -kunnonvalvontajärjestelmä, joka on rakennettu Omronin NX1P2-sarjan ohjelmoitavan logiikan avulla. Ohjelma sisältää nosturin kuormanvalvonnan, ohjauksen, etävalvonnan sekä kunnonvalvonnan. Laitetta käytetään erillisen HMI:n avulla.

Valmis tuote oli onnistunut projekti niin budjetin, aikataulun kuin tuotteen osalta. Tuote vastasi asiakkaan odotuksia ja tarjosi jo heti ensimmäisinä päivinä arvokasta tietoa testilaitteeseen asennetun laitteen väärinkäytön paljastumisena. Käyttöasteen arvioiminen näin jälkeenpäin oli huomattavasti helpompaa, kun näki oikeasti kerättyjä käyttötietoja eikä perustanut näkemystä olettamuksiin.

Avainsanat: PLC, kunnonvalvonta, siltanosturi, teollisuusnosturi, ohjelmoitava logiikka

## Abstract

Author: Renny Räikkönen  
Title: Intelligent Condition Monitoring System for Overhead Crane  
Number of Pages: 32 pages  
Date: 25 February 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Power Engineering  
Supervisors: Aki Vuorinen, development manager  
Jarmo Tapio, Senior Lecturer

In this project, a logic-programmed crane control was constructed to collect useful usage data for condition monitoring. This data enables optimal performance of maintenance, inspections, and component replacements. The project was conducted for KP-ServicePartner Oy, specializing in crane sales and maintenance.

This thesis introduces devices and values significant to condition monitoring and familiarizes with the definition of inspection intervals according to standards. Thesis also familiarizes with crane manufacturer's instructions on component limits.

As a result of the project, the WorkMate 2.0 condition monitoring system was developed, utilizing Omron's NX1P2 series programmable logic controller. The program includes load monitoring, control, remote monitoring, and condition monitoring, operated via a separate HMI.

The finished product was a successful project in terms of budget, schedule, and product quality. It met the client's expectations and provided valuable insights, such as detecting misuse of the installed device in the test equipment within the first few days. Evaluating the utilization rate retrospectively was much easier with actual usage data collected, rather than relying on assumptions.

Keywords: PLC, Condition monitoring, Overhead crane, Industrial crane, programmable logic controller

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Siltanosturi	2
2.1	Nostokoneisto	3
2.2	Jarrut	3
2.3	Moottori	5
2.4	Vaihde	5
2.5	Köysitela	6
2.6	Kantopyörät	7
2.7	Virransyöttö	7
3	Kunnossapito	10
3.1	Mekaanisten järjestelmien kunnossapito	11
3.2	Sähköjärjestelmien kunnossapito	13
4	Kunnonvalvonta	17
4.1	Käyttöluokat	17
4.2	Valvottavat arvot ja raja-arvot	18
4.2.1	DWP-tunnit	18
4.2.2	Ajoaika	19
4.2.3	Käynnistykset	19
4.2.4	Jarrutukset	19
4.2.5	Nostosykli	19
4.2.6	Ylikuormat	20
4.2.7	Ohjaukset	20
4.2.8	Hätäpysäytykset	20
4.2.9	Ylilämmöt	21
5	WorkMate 2.0	21
5.1	Laitevalinta	21
5.2	WorkMate 2.0 -ominaisuudet	24

5.3	Etävalvonta	26
5.4	Ohjelmointi (salattu)	
6	Kunnonvalvonnan hyödyt ja haitat	27
6.1	Hyödyt	27
6.2	Haitat	28
6.3	Esimerkkitapaukset	28
6.3.1	Noston kontaktorien vikakorjaus	28
6.3.2	Nosturihuollon optimointi tehtaassa	29
6.3.3	Nosturin perusteellinen määräaikaistarkastus	29
7	Yhteenveto	31
	<b>Lähteet</b>	<b>32</b>

## Lyhenteet

- B10<sub>d</sub>: Number of operations before 10% components fail dangerously. Käyttökertojen määrä ennen kuin 10 % komponenteista rikkoutuu vaarallisesti.
- DWP: *Design Working Period*. Suunniteltu käyttöjakson pituus (tunteina) täydellä kuormituksella.
- FEM: *Federation Europeene de la Manutention*. Euroopan materiaalinkäsittelyliitto.
- ED%: *Einschaltdauer*. Sähkömoottorin suurin sallittu käyttömäärä 10 minuutin aikajaksolla.
- HMI *Human Machine Interface*. Ihmisen ja logiikan välisessä kommunikaatiossa käytettävä käyttöliittymä.
- ISO: *International Organization for Standardization*. Kansainvälinen standardointijärjestö.
- MQTT: *Message Queuing Telemetry Transport*. Tietoliikenteen lähetyksen ja vastaanotto-protokolla.
- MTTF: *Mean time to failure*. Keskimääräinen aika komponentin vikaantumiseen.
- PLC: *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikkaohjain.
- Sistema: Ohjelmistotyökalu konekäyttöisten laitteiden ohjauksen turvallisuustason arviointiin ISO 13849 -standardin mukaan.
- SWP: *Safety Working Period*. Vanha määritelmä DWP-tunneille.
- TLS: *Transport Layer Security*. Internetyhteyden tietoliikenteen salausprotokolla.

# 1 Johdanto

Teollisuusnostureihin kuuluvat siltanosturit ovat monella teollisuuden tuotantotalalla välttämättömiä tuotannon mahdollistamiseksi. Siltanosturit suunnitellaan asiakkaan tarpeiden mukaan mahdollistamaan nopea, turvallinen ja sujuva materiaalin siirto. Vielä uusissakin nostureissa on olemattomat laitteistot laitteen kunnan, huoltojen ja käyttöiän määrittelemiseen, minkä takia kunnossapito perustuu lähinnä kalenterikuukausiin. Kalenterikuukausiin perustuva kunnossapito ei ota huomioon tuotannon muutoksia tai määriä, minkä takia kunnossapito ei ole optimoitua.

Opinnäytetyön tarkoitus on luoda siltanostureihin älykäs kunnanvalvontajärjestelmä ohjelmoitavan logiikan avulla. Työssä käydään läpi kunnossapidon kannalta nosturin kriittiset komponentit sekä niiden kunnossapito. Logiikka ohjelmoidaan valvomaan kunnossapidon kannalta tärkeiden komponenttien elinkaarta tunti- ja käyttökertalaskureiden avulla. Työssä käsitellään myös raja-arvoja laitteen käyttökunnan kannalta kriittisille komponenteille.

Älykkään ja tarkan kunnanvalvontajärjestelmän avulla KP-ServicePartner varmistaa asiakkailleen laadukkaan, kustannustehokkaan ja ennakoivan kunnossapidon, jolloin asiakkaiden tuotannon toimintavarmuus ja turvallisuus paranevat. Opinnäytetyö rajataan yleisesti käytössä oleviin siltanostureihin eli niin kutsuttuihin standardinostureihin. Opinnäytetyön luku 5.4 salataan KP-ServicePartnerin pyynnöstä.

Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä juuri 20 vuotta täyttäneen KP-ServicePartner Oy kanssa. KP-ServicePartner Oy on suomalainen perheyritys, jonka pääpaikkana toimii Siilinjärvi. KP-ServicePartner on keskittynyt ABUS- ja Stahlteollisuusnostureiden myyntiin sekä kaikkien nosturivalmistajien nostureiden nostureiden tarkastukseen ja elinkaaripalveluihin. Yritys toimii myös tuontolaitosten kunnossapidon ytimessä, josta kaikki sai alkunsa vuonna 2003. [1.]

## 2 Siltanosturi

Nosturilla tarkoitetaan konekäyttöistä kiinteää tai siirrettävää nostolaitetta, joka on tarkoitettu erilaisten taakkojen tai kuormien nostamiseen, siirtämiseen tai laskeamiseen ja jossa taakkaa kannatellaan ja ohjataan nosturin rakenteen, köysien, ketjujen tai puomirakenteen avulla [2]. Siltanosturi on nosturyyppi, jota käytetään yleisesti erilaisissa teollisuuslaitoksissa. Siltanosturi koostuu yleisesti yhdestä tai kahdesta pääkannattajasta, jota pitkin yleensä nostokoukulla varustettu nostovaunu kulkee. Itse nostosilta kulkee yleisesti hallin seinään kiinnitettyä kiskoja pitkin. [3.] Siltanosturia ohjataan nykyisin alhaalta radio-ohjaimen avustuksella. Kuvassa 1 on esitetty yksi- ja kaksipalkkinen siltanosturi.

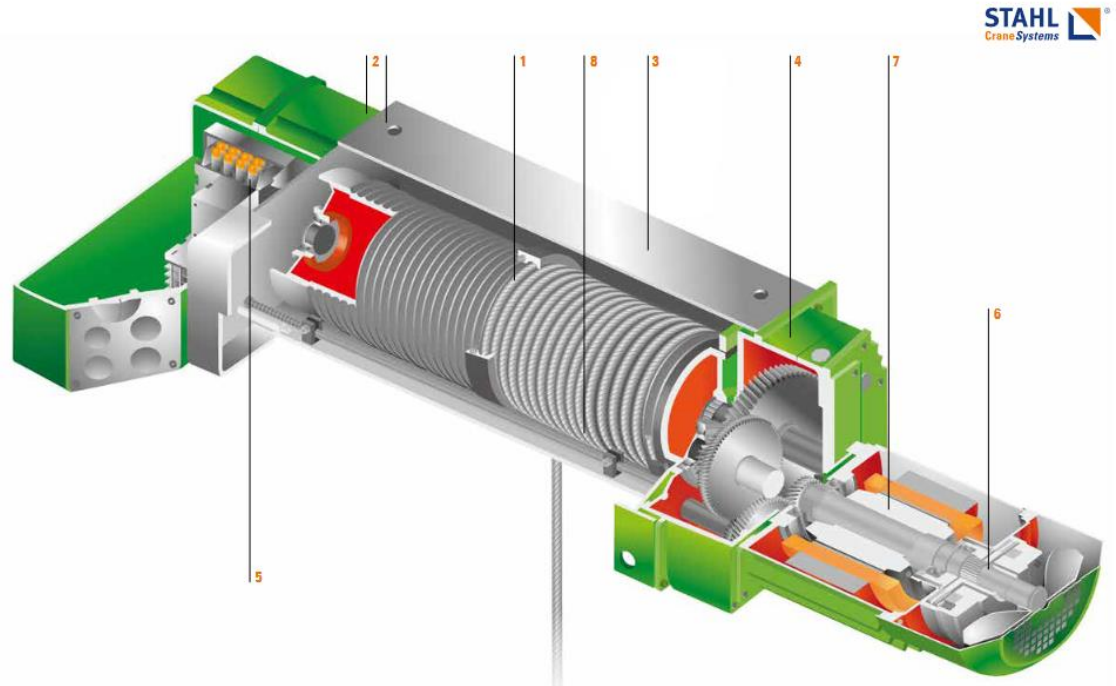


Kuva 1. Abus-siltanosturi [4].



## 2.1 Nostokoneisto

Kuvassa 2 voidaan tarkastella tyypillistä nostimen rakennetta poikkileikkauksena. Nostokoneisto muodostuu jarrusta, nostomoottorista, vaihteesta, köysitelasta, köydestä sekä nostokoukusta. Nostovaunun yhteyteen lisätään yleisesti vaunun ohjaukseen tarvittava sähkökeskus.



Kuva 2. Nostimen poikkileikkaus [4, s. 9].

## 2.2 Jarrut

Siltanostureissa käytetään pääsääntöisesti kolmea erilaista jarrutyyppeä.

*Kartiojarrumoottori* on erikoisrakenteinen kolmivaiheinen induktiomootori, jonka roottori ja staattori ovat kartion muotoisia. Roottorin akselilla on myös jousi ja jarru. Kartionmuotoisen ilmavälin takia magneettikentällä on myös akselin suuntainen komponentti. Moottorin käynnistyessä magneettikenttä siirtää akselia jousen suuntaan ja vapauttaa jarrun. Sähköjen katketessa jousi painaa jarrun kiinni. Rakenne on hyvin yksinkertainen ja toimintavarma. [6.] Kartiojarru oli

yleisin nostureissa käytetty jarrutyyppeä aina 1990-luvun vaihteeseen asti. Kuvas-  
sassa 3 on kartiojarrun kitkapinta sekä jarrukilpi.



Kuva 3. Kartiojarru.

*Levyjarru* on nykypäivänä käytetyin jarrutyyppeä. Levyjarrun kitkalevy, kela ja jarrulevyt on asennettu sähkömoottorin N-päättyyn (non-drive). Kitkalevy on kiinnitetty roottorin akseliin hammastuksen avulla. Jarrun ollessa sähkötön painautuu kitkalevy jousikuorman avulla kahden jarrulevyn väliin pysäyttäen roottorin. Jarru avautuu kelan magneettikentän vetäessä jousikuorman jarrulevyn avulla, jolloin kitkalevy pääsee pyörimään vapaasti.

*Kenkäjarru* yleisesti asennetaan moottorin ja vaihdelaatikon väliseen akselissa olevan kitkapinnan avulla. Kenkäjarrussa on erillinen sähköhydraulinen yksikkö, joka työntää jarrun auki. Myös kenkäjarru on jousikuormitteinen, joten jarrutus tapahtuu säädettävän jousen avulla. Kenkäjarruja käytetään lähinnä suurissa nostureissa sekä nostureissa, joissa tarvitaan suuri jarrutusteho.

## 2.3 Moottori

Nostureissa moottorit ovat yleensä kaksi- tai yksinopeusosikumoottoreita. Kaksinopeusmoottorit on varustettu kaksilla käämeillä, joita vaihtamalla nosturia voidaan ohjata kahta eri nopeutta. Nopeuden muutos on toteutettu napaparien muutoksella yleisesti suhteessa 1/6. Kaksinopeusmoottorit ovat käytössä kontaktiohjatuihin nostureihin, kun taas yksinopeusmoottoreita käytetään pääsääntöisesti taajuusmuuttajan kanssa.

Taajuusmuuttajakäytöissä nostomoottorit ovat valvottuja enkoodereiden avulla, joiden tarkoitus on tunnistaa mahdollinen moottorin ryntäys. Anturi voi sijaita itse moottorissa tai esimerkiksi noston rajakytkimen yhteydessä. Taajuusmuuttajakäytöt tarvitsevat lisätuulettimen, sillä hidas pyörimisnopeus ei muuten mahdollista moottorin riittävää jäähdytystä.

Nosturin moottoreissa on myös erityispiirteinä pieni  $E_d$ -luku eli sähkömoottorin suurin sallittu käyttömäärä 10 minuutin aikajaksolla, jonka takia moottorit eivät saa pyöriä yhtäjaksoisesti pitkiä aikoja. Nostomoottorin  $E_d$  on määritelty standardissa FEM 9.682 [7], tyypillisesti standardinostureissa arvo on 40–60 %.

## 2.4 Vaihde

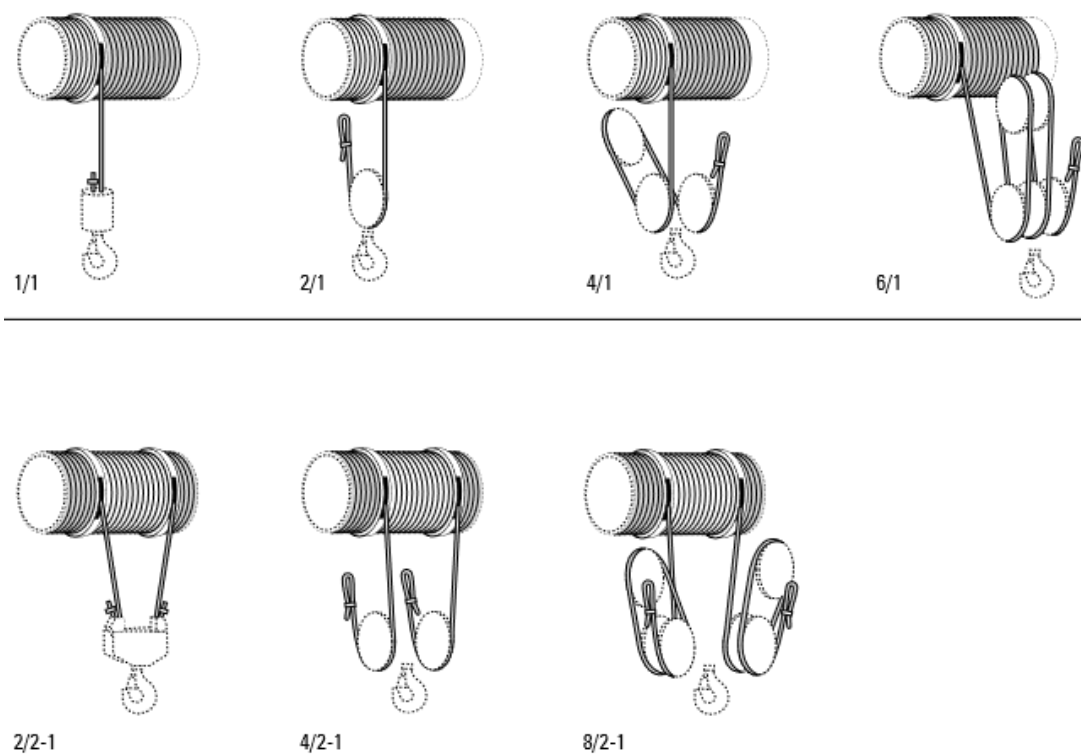
Noston vaihteen tarkoitus on välittää nostomoottorin nopea pyörimisnopeus ja matala vääntömomentti pieneksi nopeudeksi ja korkeaksi vääntömomentiksi köysitelalle [8].

Vaihteen välityssuhde on tyypillisesti luokkaa 1:147. Välityssuhde riippuu moottorin pyörimisnopeudesta sekä tavoitenopeudesta. Pienentämällä vaihteen välityssuhdetta kasvaa vastaavasti moottorilta vaadittu teho.

Pienemmät uudet nosturit on voideltu erikoisrasvalla, minkä takia niitä kutsutaankin rasvavaihteiksi. Isommat sekä vanhemmat vaiheet ovat öljyvoideltuja.

## 2.5 Köysitela

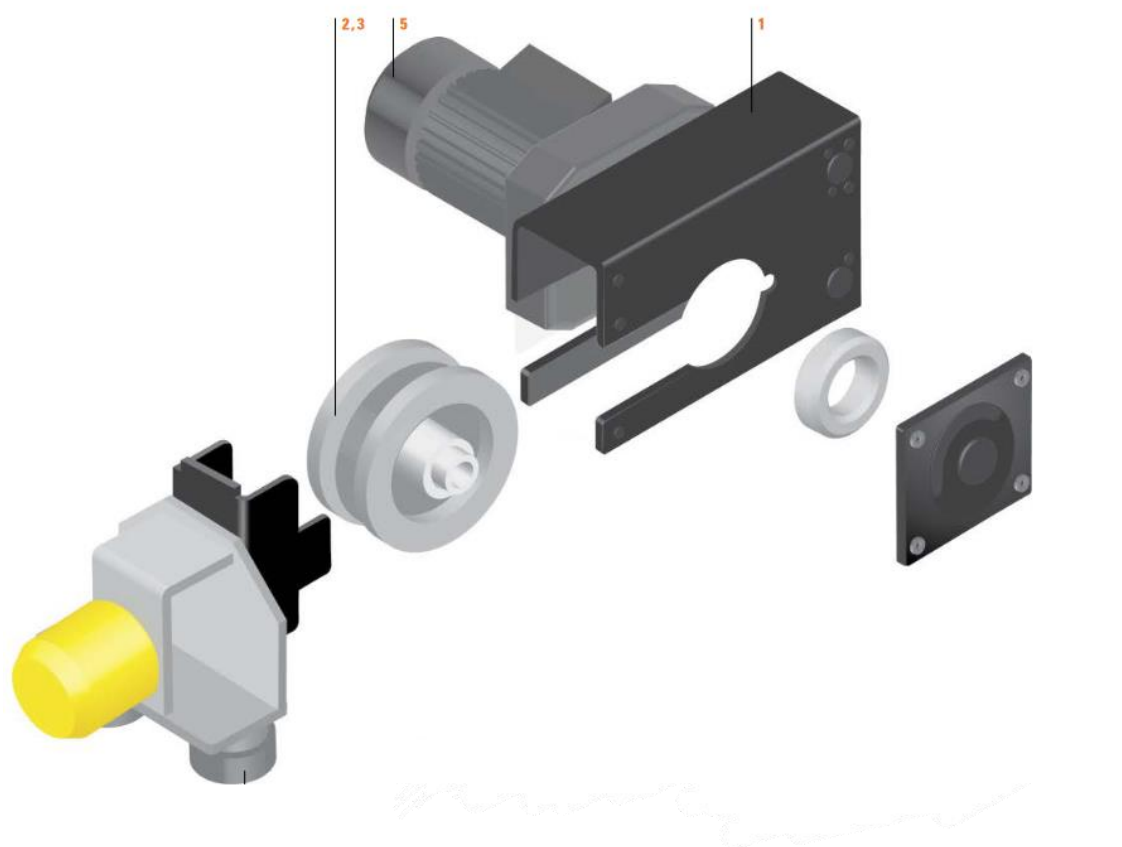
Nosturin köysitelan tarkoitus on kelata nostoköyttä, minkä seurauksena nostokoukku nousee. Yleisesti köyden toinen pää kiinnitetään kiinteästi nostovauvuun, minkä takia sitä kutsutaankin kiinteäksi päädyksi. Kuvassa 4 voidaan tarkastella yleisimpiä köysityksiä. Ensimmäinen numero kertoo, kuinka monesti köysi kulkee ylös tai alas. Vinoviivan jälkeinen numero puolestaan kertoo, kuinka monesti köysi on kiinnitetty telalle.



Kuva 4. Tyypilliset nosturin köysitykset [4, s. 7].

## 2.6 Kantopyörät

Siirtoliikkeissä vaihdelaatikon toisioakselin voimaa ohjataan vaunun tai sillan kantopyörille, minkä seurauksena nosturi liikkuu. Vanhemmissa ratkaisuissa kantopyörän ulkokehällä oli avohammastus, jolle vaihdelaatikon toisioakseli kytkettiin. Nykypäivänä vaihteet on pääsääntöisesti kytketty keskelle kumtopyörää. Kuvassa 5 on siirtokoneisto purettuna.

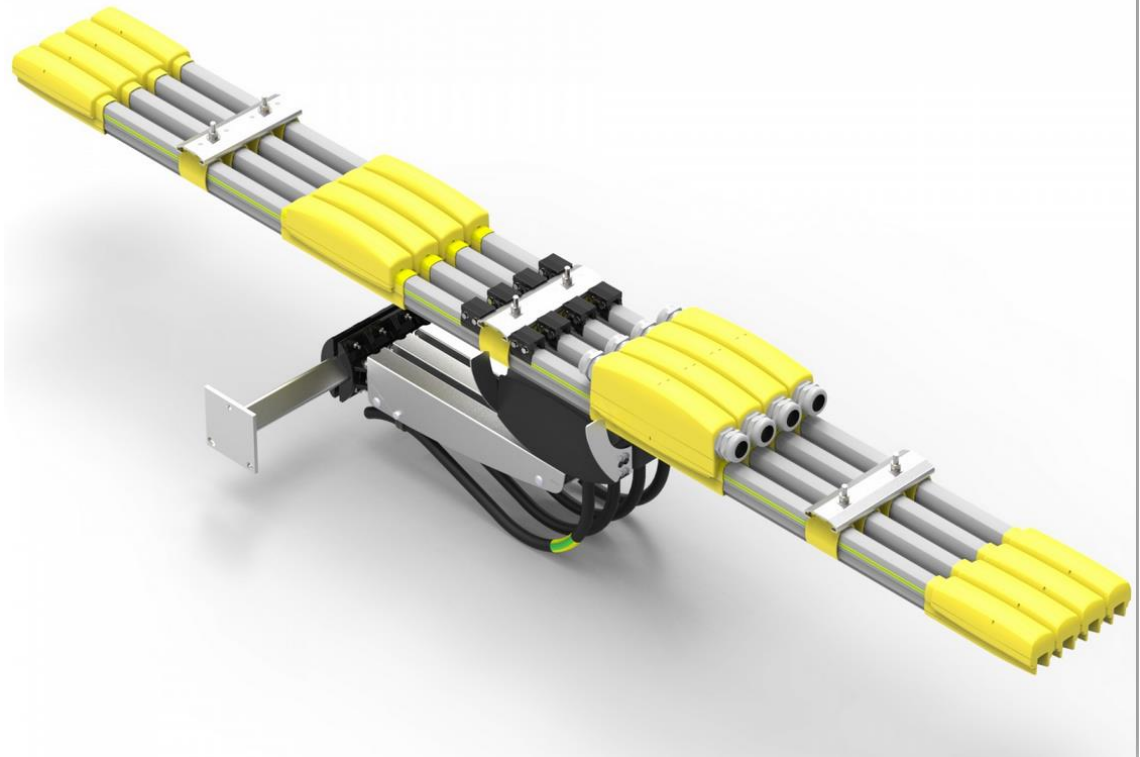


Kuva 5. Sillan- ja vaunnsiirtokoneisto [9, s. 5].

## 2.7 Virransyöttö

Nosturin virransyöttö sijaitsee yleensä nosturiradan vieressä nosturin alapuolella. Joissakin tapauksissa virtalinja halutaan sijoittaa nosturiradan yläpuolelle. Nostureiden virransyötön toteutuksessa käytetään kolmea erilaista tapaa.

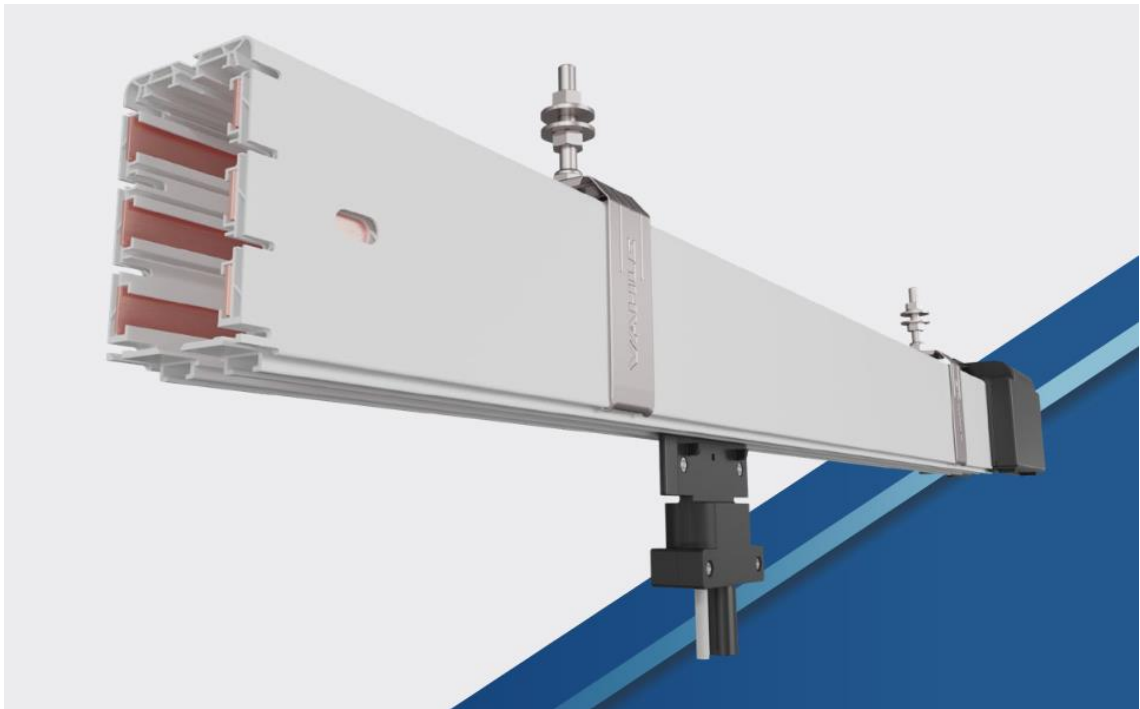
*Avovirtakiskot* muodostuvat kolmesta vaihekiskosta sekä maadoituskiskosta. Nosturissa kiinni olevien virroittimien hiilet puristuvat virtakiskoston kuparia vasten virroittimen jousikuorman avulla. Virtakiskostoihin voidaan kytkeä useampi nosturi samaan linjastoon. Virtakiskostoissa voidaan siirtää myös suuria virtoja, minkä takia sitä käytetäänkin isojen nostureiden virransyöttönä, esimerkiksi paperiteollisuudessa, sekä järjestelmissä, missä useita nostureita kytketään samaan linjastoon. Kuvassa 6 on tyypillinen nostureissa käytetty avovirtakiskosto.



Kuva 6. Fels-virtakiskosto [10].

*Koteloidut virtakiskot* ovat yleinen valinta nykypäivän asennusnopeuden ja kustannustehokkuuden ansiosta. Koteloidun virtakiskoston johdinkuparit on nimensä mukaisesti koteloitu nelikulmaiseen koteloon. Kuvassa 7 näkyvät kuudet kuparit koteloidussa virtakiskostossa. Koteloidun virtakiskoston virrankesto on

huomattavasti heikompi verrattuna avovirtakiskostoon. Koteloitu virtakiskosto sallii silti useamman nosturin liittämisen samaan virtakiskostoon.



Kuva 7. Vahlen koteloitu virtakiskosto [11, s. 1].

*Kaapelivaunujärjestelmät* eli niin kutsutut riippukaapelijärjestelmät kannattelevat kiinteää virransyöttökaapelia nosturin mukana. Kaapelivaunujärjestelmiä käytetään yleensä tuotannoissa, joissa esiintyy esimerkiksi epäpuhtauksia, joiden takia virtakiskostoja ei voida käyttää, esimerkkinä sinkkaamot. Kaapelivaunujärjestelmään ei voida liittää kuin kaksi nosturia, mutta molemmat nosturit tarvitsevat oman syöttökaapelin. Nostureita syötetään myös radan eri päistä, minkä takia kaapelointipituudet myös kasvavat.

Kaapelivaunujärjestelmän suuri haitta verrattuna virtakiskostoihin on mahdollinen takertuminen, joka voi vaurioittaa kaapeleita. Kaapelivaunujärjestelmä vie myös erittäin paljon tilaa, joka saattaa olla tietyissä paikoissa rajallista. Kuvassa 8 visualisoidaan kaapeleiden roikkumista.



Kuva 8. Kaapelivaununjärjestelmä [12, s. 1].

### 3 Kunnossapito

Nosturin kunnossapitoon vaikuttaa erittäin moni seikka, minkä takia tarkkoja arvioita ja huoltovälejä on mahdotonta antaa ilman minkään näköistä kunnonvalvontaa. Kunnossapitoon vaikuttavat kuormaspektri, nostojen määrä, nostonopeudet, kuljetettavat matkat, ympäristö, käyttöluokat sekä nosturin ominaisuudet.

Jokaisen asentajan tulisi kuitenkin tunnistaa nosturin käyttöön liittyvät seikat, jotta ennakoiva kunnossapito ja laitteen turvallinen käyttö olisi mahdollista. Liiallinen osien vaihto aiheuttaa ylimääräisiä ja turhia kustannuksia, kun toisessa vaakakupissa painaa laitteen käyttövarmuus ja turvallisuus.

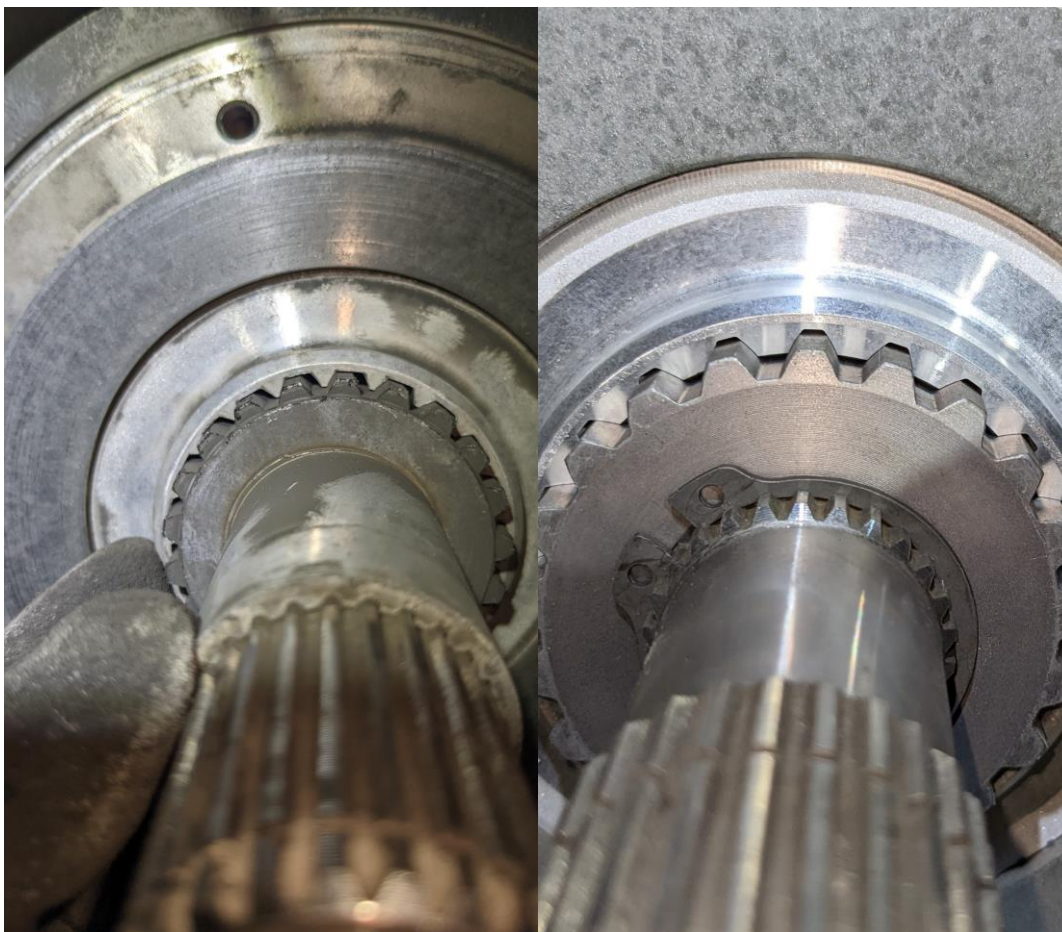
KP-ServicePartner ryhmittelee nosturit asiakkaiden kanssa tuotantokriittisyyden mukaan kolmeen ryhmään A, B ja C. A-luokan laitteiden rikkoutuessa tuotantoon aiheutuu suuria hidastuksia, tuotanto keskeytyy tai pysäytetään alle



kuuden tunnin kuluttua laitteen rikkoutumisesta. B-luokan laitteilla tunti-arvio on 6–48 tuntia. C-luokan laitteet eivät vaikuta juurikaan tuotantoon. Kyseisiä luokkia käytetään kunnossapidon suunnittelussa. A-luokan laitteet ovat muutamia erikoistapauksia lukuun ottamatta suurimmalla käytöllä, minkä takia myös osien uusiminen on yleisempää. Huoltonosturit, joita käytetään vain huoltoseisakeissa, voivat myös olla A-luokan laitteita, vaikka käyttötunnit ovatkin vähäisiä esimerkiksi voimalaitoksissa.

### 3.1 Mekaanisten järjestelmien kunnossapito

*Jarrujen* tyypilliseen kunnossapitoon kuuluu ilmavälin sekä kitkapinnan materiaalin paksuuden tarkastaminen. Roottorin ja kitkalevyn välinen hammastus on useasti monen jarrutyypin heikoin lenkki, minkä takia jarru tuleekin avata huollon ja tarkastuksen yhteydessä. Kuvassa 9 tarkastellaan jarrulevyä, jossa hammastus on kulunut lähes loppuun vaarantaen jarrun toimivuuden, sekä uutta jarrulevyä, jonka levyn hammastuksen väliin ei jää kuin pieni rako, jotta jarrulevy hieman liikkuu jarrun avautuessa. Jarrun vaihtoväli käsitellään luvussa 4.2.4.



Kuva 9. CXT-köysinostimen kulunut ja uusi jarrulevy.

*Sähkömoottorit* ovat itsessään hyvin huoltovapaita, mutta huolloissa tulee tarkkailla nostomoottorin riittävää jäähdytystä. Pöly ja lika haittaa lämmön siirtymistä moottorista ilmaan, mikä aiheuttaa ylikuumenemista. Erillisten puhaltimien toiminta on myös todennettava. Nostomoottorien laakeroinnin elinikä on noin 10 000–15 000 tuntia. [13.]

Noston ja siirtoliikkeiden *vaihteet* ovat huoltovapaat käyttöluokan asettamissa rajoissa. Useat valmistajat kuitenkin asettavat 10 vuoden välein tarkastuksen, öljyn- ja tiivisteiden vaihdon. Nosturin rakenteen vuoksi vaihdetta huollettaessa moottori joudutaan irrottamaan vaihteesta, joten huoltoa tulisi harkita niin ikään moottorin kanssa samaan aikaan eli noin 10 000–15 000 tunnin kohdalla. [14.]

*Nostoköyden* elinkaareen vaikuttavat nosturin köysitys, kuorma, nostosykli, olosuhteet, nostokorkeus sekä nostomatkan pituus. Nostoköysi kuuluu köyden taittuessa köysipyörille sekä nostettaessa kuormaa, jolloin köysi venyy. Taittuessa ja venyessä köyden langat hioutuvat toisiaan vasten aiheuttaen kulumaa. Nosturin köyden elinikään voidaan vaikuttaa merkittävästi oikeanlaisella voitelulla. Nostoköyden tulee myös olla puhdas, sillä lika ja muut epäpuhtaudet aiheuttavat ylimääräistä kitkaa vähentäen köyden elinikää. [15.]

Nostimen köysitys vaikuttaa siihen, montako kertaa köysi taipuu alhaalta ylös nostettaessa. Mitä useamman kerran köysi taipuu, sitä lyhyempi köyden elinikä tulee olemaan. Esimerkiksi luvussa 2.5 esitetyn köysityksen ollessa 1/1 köysi taipuu vain telalle keräytyessään. Jos köysitys olisi 2/1, taittuisi se myös koukun taittopyörällä.

Nostureissa, jotka sijaitsevat ulkona, pitää kiinnittää erityishuomiota köyden voiteluun käyttäen ulkokäyttöön soveltuvia voiteluaineita korroosion muodostumisen estämiseksi. Pölyisissä olosuhteissa tulee köydet voidella aineella, joka ei lisää lian tarttumista nostoköyteen.

Nosturin köyden raja-arvona käytetään samantyyppisten nosturisovelluksien käytöstä jo opittuna tuntiarvioita tyypillisesti 1000–2000 ajotunnin väliltä, sillä tuntimäärä on opittuun dataan pohjautuva arvio. Jokaisen nosturin kohdalla raja-arvo pitää muokata kyseisestä nosturista opittuun dataan.

### 3.2 Sähköjärjestelmien kunnossapito

Sähköjärjestelmän kunnossapito on järjestelmien puhtaana pitoa, kytkentäliitosten kireyden tarkastamista sekä osien ennakoivaa vaihtamista. Ympäristön lämpötila, pölyt, epäpuhtaudet, värinä, virrat ja mitoitus vaikuttaa jokaisen komponentin elinkaareen.

Komponenttivalmistajat antavat komponenteille erilaisia arvoja elinkaaren arvioimiseen. *Mekaaniset käyttökerrat* kertoo komponentin mekaanisen rakenteen keston ilman kuormitusta. *MTTF-arvo* (mean time to failure) kertoo

keskiarvoisen määrän käyttökertoja nimelliskuormalla ennen vikaantumista. *B10d-arvo* (number of operations before 10 % components fail dangerously) kertoo arvon, missä 10% komponenteista on vikaantunut. Komponenttivalmistajien arvojen perusteella voidaan asettaa komponenteille raja-arvoja. Raja-arvot ovat kuitenkin viitteellisiä, koska komponentteja ei käytetä jatkuvasti nimelliskuormalla.

*Kontaktorit*, varsinkin noston kontaktorit, ovat kokemukseen perustuen nosturin yleisin vikaantuva komponentti. Nosturivalmistajien vaihtovälit kontaktoreille vaihtelevat suuresti. Pienin lukumäärä käyttökerroista on vain 640 000 kytkentää. Kontaktorivalmistajat antavat kuitenkin kontaktoreille B10d-arvoksi nimelliskuormalla 1 369 863 käyttökertaa ja mekaanisella kuormalla 20 000 000 käyttökertaa. [16.]

Koneturvallisuustason laskentaohjelma Sistema [17] määrittelee kontaktorien turvalliseksi käyttöäksi 1 300 000 käyttökertaa nimelliskuormalla, minkä takia se rajataan kontaktorien käyttöäksi nostokäytössä. Kuluessaan kontaktorin kärjet voivat hitsata kiinni, jolloin nosturissa liike jää aktiiviseksi, vaikka ohjauskäsä ei olisi aktiivinen. Kyseinen vika voi aiheuttaa vakavia vaaratilanteita yläsuuntaan hitsatessa, jolloin nosturin koukku voi osua runkorakenteisiin, sillä ylikuormasuojaus eikä yläraja katkaise nosturin liikettä. Suurena vaarana on taakan putoaminen täydestä korkeudesta. Tämän takia Abus- ja Stahl-nosturit on varustettu erillisellä turvarajalla, joka katkaisee nosturin pääkontaktorin aktivoituessaan.

Koska kontaktorit ovat nosturikäytössä suuressa rasituksessa jatkuvien käynnistys-tyssyklien seurauksena, suositus on vaihtaa kontaktorit noin 1 000 000 käyttökerran kohdalla turvallisen käytön sekä toimintavarmuuden saavuttamiseksi.

*Levyjarrut* ovat DC-virralla toimivia, joten vaihtosähkö tasasuunnataan diodisil-  
lan avulla DC-jännitteeksi. Jännitteet vaihtelevat suuresti eri jarrujen välillä. Ylei-  
nen ulostulojännite on kuitenkin 10 % – 30 % syöttöjännitteestä. Osa jarruista  
avataan suuremmalla avausjännitteellä, minkä jälkeen pienempi pitojännite pi-  
tää jarrun auki.

Jarrulle kulkevaa DC-jännitettä ohjataan kontaktorien, releiden sekä erilaisten  
jarrunohjauslaitteiden avulla jarrun kelalle. Moottorin syöttöjännite voidaan oh-  
jata myös suoraan tasasuuntaajalle, jolloin erillisiä ohjauspiirejä ei tarvita.

Jarrunohjauksien komponenteissa tulisi pitää vaihtoväli säännöllisenä, sillä pa-  
himmassa tapauksessa jarru voi jumittua auki-asentoon, jolloin taakkaa vastus-  
tavat vain mekaaniset kitkat, eli taakka pääsee putoamaan. Päinvastaisesti jarru  
ei myöskään välttämättä avaudu kunnolla, jolloin nostomoottori ajaa kitkalevyä  
vasten kuluttaen jarrulevyä merkittävästi. Jarrulevyn kuluessa loppuun jarrun  
kitka ei riitä pitämään taakkaa ylhäällä, vaan taakka pääsee liukumaan alas-  
päin.

Hyvä ohjesääntö on vaihtaa jarrun ohjauskontaktorit aina yhdessä moottorin oh-  
jauskontaktorien kanssa. Tasasuuntaajat ja muut jarrun ohjauslaitteet tulisi vaih-  
taa noin 3 000 000 jarrutuksen välein. [18.]

*Taajuusmuuttajan* huollon pääkohta on varmistua taajuusmuuttajan riittävästä  
jäähdytyksestä ja sen puhtaudesta. Taajuusmuuttajan jäähdytyspuhaltimet tulisi  
vaihtaa noin 5–7 vuoden kohdalla käyttövarmuuden lisäämiseksi. DC-konden-  
saattorit tulisi vaihtaa 5–10 vuoden välein, jos DC-jännitteen väräily on suurta.  
[19.]

Osa taajuusmuuttajan lisäkorteista vaatii erillistä huomiota käyttöiän sekä turval-  
lisuuden näkökulmasta. Jarrua ohjaavien relekorttien elinkaari on osalla taa-  
juusmuuttajavalmistajilla vain 500 000 käyttökertaa.

A-luokan laitteissa suositellaan 10 vuotta käytetyille taajuusmuuttajille huoltoa, vaihtoa tai varaosan ennakoivaa hankintaa. B-luokan laitteille suositus on 15–20 vuotta olosuhteitten mukaan.

*Radiojärjestelmän* kunnossapito sisältää radiolähtetimen kuorien, näppäinten, vipujen ja ohjainlaitteiden puhtaana pidon sekä rikkiäisten tai kuluneiden komponenttien vaihdon. Radiojärjestelmän toiminta on testattava kaikkien toimintojen osalta.

Radiovastaanotin puolestaan on huoltovapaa, mutta vastaanottimissa käytetään releitä, joiden elinikä on noin 20 000 000 kytkentää. Radiovastaanottiin on mahdollista vaihtaa relekortteja, mutta yleensä hinta relekortin vaihdolle on suurempi kuin vastaanottimen uusinta.

A-luokan laitteille suositellaan uusintaa tai varaosan ennakoivaa hankintaa 10–15 vuoden välein olosuhteista riippuen. B-luokan laitteille vastaava vaihtoväli on 15–20 vuotta.

*Elektroniikan, releiden, rajakytkimien ja muiden komponenttien* elinkaaret vaihtelevat käytön ja valmistajan mukaan. Yleisesti elektroniikan elinikä on kuitenkin maksimissaan noin 20–25 vuotta.

A-luokan laitteille suositellaankin sähkömodernisaatiota 10–15 vuoden kohdalla riippuen käytöstä, käyttöluokasta ja olosuhteista. B-luokan laitteen suositus on 15–20 vuotta. Sähkömodernisaation yhteydessä huomioon on otettava myös nosturin laskennallinen elinkaari. Jos laitteen käyttöikä tulee olemaan 30 vuotta, on sähkömodernisaation tarve todennäköinen. Tällöin modernisaatio suositellaan tehtäväksi puolessa välissä laitteen elinkaarta.

## 4 Kunnonvalvonta

Siltanostureissa elektroniset ohjainlaitteet rupesivat yleistymään 1990-luvun puolessa välissä. Aluksi laitteet oli suunniteltu ylikuormituksen estoon. Kuitenkin nopeasti 2000-luvun vaihteessa lähes jokaisessa uudessa nosturissa oli myös ylikuormaelektronikan yhteyteen rakennettua kunnonvalvontaa. Ensimmäisissä versioissa oli vain tuntimittareita sekä DWP-laskureita (Design working period).

Nykypäivänä moderneimmat yksiköt keräävät seuraavia tietoja nostovaunuista: Runtime (ajoaika), DWP%, nostosykli, DWP-sykli, käynnistysten määrä, jarrun käyttökerrat, ylikuormien määrä, yllämpöjen määrä, hätäpysäytysten määrä sekä kontaktorien käyttökerrat. Arvojen perusteella vaihdetaan osia valmistajan ohjeiden mukaisesti.

### 4.1 Käyttöluokat

Euroopassa olevat nosturivalmistajat valmistavat nostureita ISO- tai FEM-käyttöluokan mukaan. Edellä mainitut luokittelevat nosturit käyttöympäristöjen mukaan lähinnä seuraavasti:

- käyttöiän aikana suoritettavien työjaksojen kokonaismäärä
- kuormituspektri
- keskimääräinen siirtymä [20, s. 1].

Taulukossa 1 näkyy kullekin käyttöluokalle tyypillisiä raja-arvoja.

Taulukko 1. Eri standardien käyttöluokat sekä niiden suunnitteluarvot [21].

Crane working class & service life							
Standard	ISO/BS/DIN	M3	M4	M5	M6	M7	M8
	GB/EN	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	FEM	1Bm	1Am	2m	3m	4m	5m
	CMAA	B	C	D	E	F	-
	HMI/ASME	H2	H3	H4	H5	H5	H6
Design working period DWP(h)	400	800	1600	3200	6300	12 500	
Lifting motor duty %ED	25	30	40	50	60	60	
Starts (s/h)	150	180	240	300	360	360	
Running time (h)	3200	6300	12 500	25 000	50 000	100 000	
Starts	480 000	1 134 000	3 000 000	7 500 000	18 000 000	42 000 000	
Overloads	1000	1000	1000	1000	1000	1 000	

## 4.2 Valvottavat arvot ja raja-arvot

### 4.2.1 DWP-tunnit

Design working period on laskennallinen tuntiarvo, jonka nostin voi nostaa nimelliskuormaa. Kuorman vaikutus on nosturissa verrannollinen kolmanteen potenssiin. Eli täyskuormatuntien laskemisessa käytetään seuraavaa laskentakaavaa:

$$Q^3 * t$$

jossa Q on kuorma ja t aika.

Täydellä kuormalla tunnin ajo vastaa luonnollisesti yhtä DWP-tuntia. Jotta sama rasitus saavutetaan nosturin koneistoon 50 %:n kuormalla on ajettava 8 tuntia.

Laitteisto on peruskorjattava valmistajan ohjeiden mukaan, jos suunnitteluraja ylitetään. Suomessa laitteelle pitää tehdä myös perusteellinen määräaikaistarkastus laskennallisen käyttöiän loputtua. [2.]



#### 4.2.2 Ajoaika

Luvussa 4.2.1 havaitaan että tyhjällä kuormalla nosturia ajettaessa nosturin rasitus on lähes olematon. Kuitenkin mekaanisesti liikkuvien osien rasitus on aina olemassa, joten koneistoille on annettu myös tuntiraja. Tuntiraja on noin kahdeksan kertaa enemmän kuin täysikuormatuntiraja. Valmistajilla on erilaisia kunnostusohjeita, jos tämä raja-arvo saavutetaan ennen DWP-tuntien raja-arvoa.

#### 4.2.3 Käynnistykset

Käynnistykset ovat lukuarvo jokaisesta kerrasta, kun nostin nostaa tai laskee kuormaa. Jarrunohjauslaitteiden käyttöikä on määritelty yleisesti tämän arvon mukaan. Käynnistykksiä voidaan myös käyttää radiovastaanottimen elinkaaren määrittelyssä. Käynnistykseen raja-arvot tulevat suoraan käyttöluokasta. Valmistajilla on huolto-ohjeita, jos tämä raja-arvo saavutetaan ja DWP-tunnit eivät ole ylittäneet raja-arvoja.

#### 4.2.4 Jarrutukset

Valmistajat ovat asettaneet jarruille erilaisia raja-arvoja. Osa raja-arvoista liittyy puhtaasti jarrutuskertoihin ja toiset taas kitkalevyn, jousien ja hammastuksen välyksen mittoihin.

Jarrulaskuri laskee jokaisen kerran, kun jarru aukeaa. Vakioraja-arvona pidetään miljoonaa jarrutuskertaa, jonka jälkeen tiettyjen jarrutyyppeiden raja-arvoa voidaan lisätä, mutta osa jarruista tulee vaihtaa. [22.]

#### 4.2.5 Nostosykli

Nostosykli ovat nosturin teräsrakennetta varten asetettuja raja-arvoja. Jokainen sykli rasittaa nosturin teräsrakennetta. Raja-arvot tulevat standardeista rakenteen luokan mukaan.

Yksi nostosykli lasketaan, kun nosturi nostaa 25 % nimelliskuormastaan ja laskee taakan lattialle. DWP-syklit on DWP-tuntien tapaan kolmanteen potenssiin perustuva laskentakaava, missä kahdeksan sykliä 50 %:n kuormalla vastaa yhtä nostosykliä nimelliskuormalla.

#### 4.2.6 Ylikuormat

Luvussa 4.1.1 huomattiin kuorman vaikutus nosturin rasitukseen. Koska nosturia ei ole suunniteltu kestävään liiallisiin kuormiin, on ylikuormille asetettu raja. Nosturi on kunnostettava valmistajan ohjeiden mukaan arvon ylittäessä raja-arvon. Laitteelle on myös tehtävä perusteellinen määräaikaistarkastus.

#### 4.2.7 Ohjaukset

Kontaktorien kunnonvalvonta perustuu ohjauksien lukumäärään. Jokaisesta kontaktorin ohjauksesta lasketaan yksi käyttökerta.

Luvussa 3.2.1 käsitellään kontaktorien raja-arvoa. Hyvänä turvallisen raja-arvona voidaan kuitenkin pitää 1 000 000 käyttökertaa.

#### 4.2.8 Hätäpysäytykset

Hätäpysäytys aktivoituu, jos nosturissa on aktiivinen liike päällä ja hätä-seis-painiketta painetaan. Tällöin nosturista katkeaa sähkönsyöttö ja jarrut aktivoituvat.

Luonnollisesti hätäpysäytys rasittaa nosturia huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi taajuusmuuttajan rampilla nosturin hidastus ennen jarrutusta. Näin ollen yksi hätäpysäytys vastaa noin tuhatta hallittua jarrutuskertaa.

#### 4.2.9 Ylilämmöt

Nostomoottorit on standardin 60204–32 [23, s. 90] mukaan varustettava ylilämpenemiseltä suojaavalta laitteella. Suojaus on toteutettu yleensä moottorin sisällä olevan termistorin avulla. Moottorin ylilämpöjen lisääntyessä syyt on selvitettävä, jotta moottori ei vaurioidu. Syitä ylilämpöihin ovat esimerkiksi luvussa 3.1 esitetyt lika, laakerivaurio, jäähtymisen rikkoutuminen tai moottoreiden liian pieni sallittu ed%.

## 5 WorkMate 2.0

### 5.1 Laittevalinta

Kunnonvalvonnan kehitysprojekti aloitettiin ehdotelmastani toteuttaa projekti hyödyntäen ohjelmoitavia logiikoita. Valinta perustui logiikoiden ylivertaisiin ominaisuuksiin, muokattavuuteen ja ennen kaikkea luotettavuuteen, jonka avulla myös laitteella on pitkä elinkaari.

Laittevertailua tehtiin kolmen eri valmistajan laitteille: Siemens, Wago ja Omron. Vertailussa keskityttiin laitteiden hintaan, ominaisuuksiin ja laitetukeen. Omron osoittautui raudan sekä ohjelmistojen kanssa edullisimmaksi vaihtoehdoksi, ja se oli peruskokoonpanolla lähes puolet halvempi kuin Wago. Siemensin lisensipolitiikka muodostui myös mutkikkaaksi, sillä S1200- ja S1500-sarjan logiikat tarvitsevat eri lisenssin. Omronin Sysmac-studiolla pystyy ohjelmoimaan kaikkia NX-sarjan logiikoita saman lisenssin alaisuudessa.

Valintaan vaikutti myös KP-ServicePartnerin aikaisempi historia erilaisista automaatioprojekteista Omronin logiikoiden avulla sekä Omronin aktiivinen ja projektista kiinnostunut käyttäjätuki. Tämän seurauksena laitevalinnassa päädyttiin käyttämään Omronin NX1P2-sarjan logiikoita. WorkMate 2.0 -alustana toimiva Omronin logiikka on esitettyä kuvassa 10.



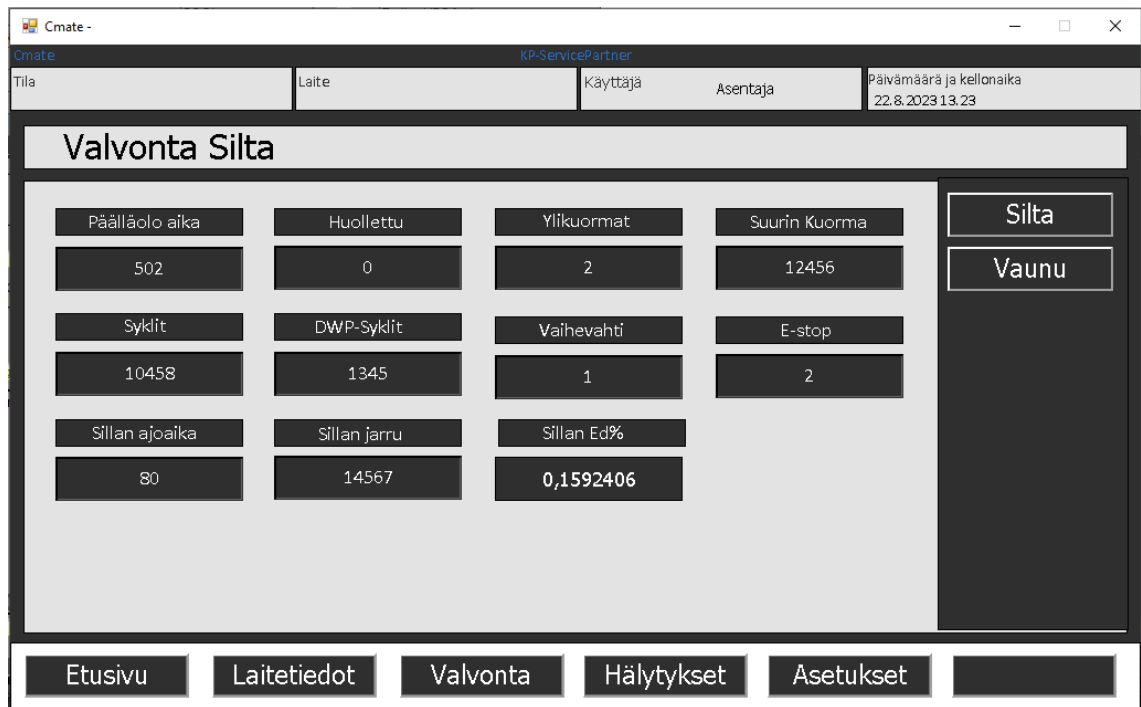
Kuva 10. Omron NX1P2 logiikkaohjain [24].

WorkMate 2.0 -järjestelmän tarkoitus oli alusta asti myös ohjata nosturia, jolloin erilaisia elektroniikkalaitteita ei tarvita nosturin ohjaukseen sekä pystytään korvaamaan olemassa olevat laitteet omalla tuotteella. Nosturin ylikuormasuojaus on oltava standardin SFS-EN ISO 15011:2020 mukaan vähintään standardin SFS-EN ISO13849-1 tasoa PL<sub>d</sub>[25]. Sen takia projektissa käytetään edellä mainitulla turvatasolla varustettua anturivahvistinta.

Nosturin kuorma-anturi kiinnitetään nosturin kiinteään päähän, jolloin nosturin kuormitus venyttää venymäliuska-anturia. Anturivahvistin mittaa venymäliuska-anturin muuttunutta resistanssiarvoa. Anturivahvistin lähettää 4–20 mA:n signaalin logiikan analogiatuloon, jotta myös logiikalle saadaan skaalattua tarkka kuorma. Anturivahvistimessa on myös oma rele, joka voidaan asettaa katkeamaan nosturin ylikuormittuessa. Rele katkaisee noston ohjaussignaalin estäen noston.

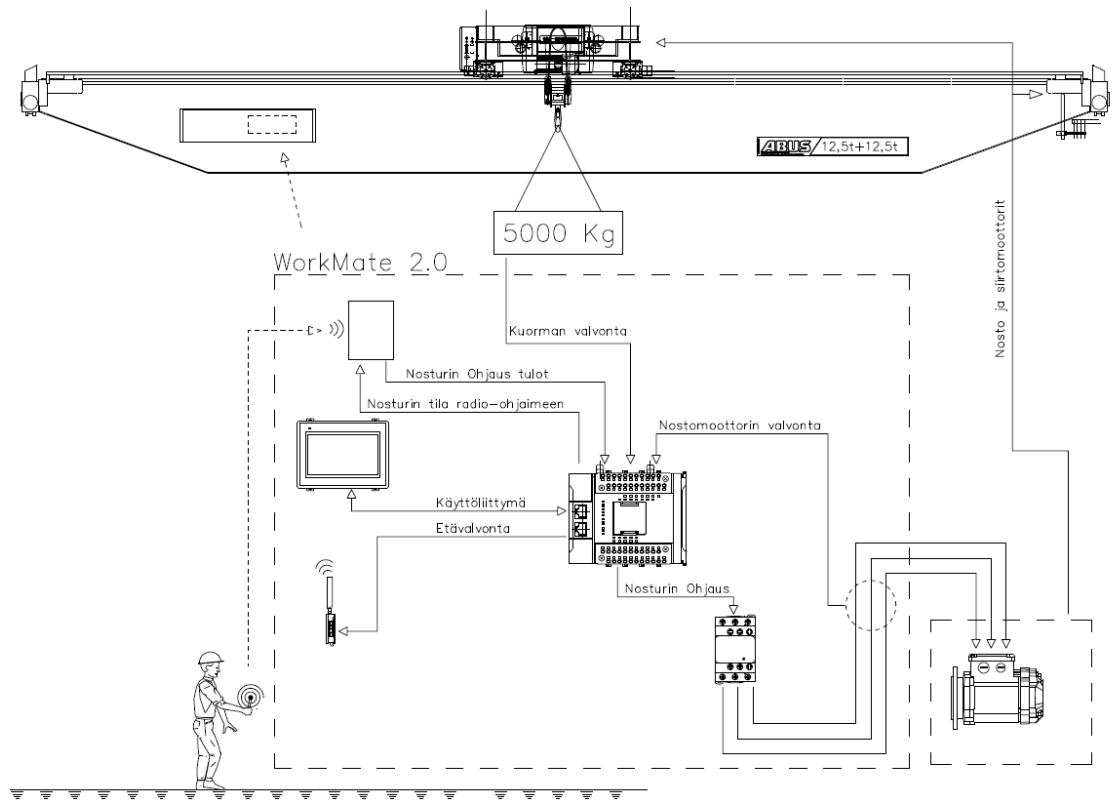
Logiikan käyttöönotto, asetusten muuttaminen, kunnonvalvonta-arvojen nollaus sekä hälytyshistorian nollaus tapahtuu erillisestä HMI:stä. Niin ikään HMI-valmistajia vertailtiin keskenään. Valinnassa päädyttiin Beijersin tuotteisiin niiden erittäin hyvän hinta-laatusuhteen takia. Yritys oli käyttänyt näyttöjä aikaisemmin,

joten kokemusta oli myös näyttöjen ohjelmoimisesta. HMI:n visualisointia esittää kuvassa 11.



Kuva 11. HMI-käyttöliittymä.

Nostomoottorin tilaa valvotaan erillisen virtamuuntajan avulla mittaamalla nostomoottorille kulkevan vaiheen virtaa. Virran ylittyessä sallitun raja-arvon nosto keskeytetään. Järjestelmän tarkoitus on suojata nostomoottoria ylikuormittumiselta sekä mahdolliselta jumiutumiselta. Taajuusmuuttajakäyttöisessä nosturissa kyseistä toimintoa ei tarvita, sillä taajuusmuuttaja valvoo itsessään nostomoottorin tilaa, minkä takia järjestelmä valvoo jarrukontaktorilta tulevaa signaalia. Järjestelmäkuvaus on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Järjestelmäkuvaus.

## 5.2 WorkMate 2.0 -ominaisuudet

Kunnonvalvontalaitteen tarkoitus oli valvoa koko nosturin käyttöä eikä vain kilpailevien laitteiden tapaan pelkkää nostovaunua. Suurena prioriteettina oli myös pystyä toteuttamaan yhdellä laitteella useamman vaunun valvonta sekä ohjaus. Yhdellä laitteella saavutetaan merkittävä hintaetu kilpaileviin laitteistoihin verrattuna. Järjestelmä on mahdollista ottaa käyttöön 3-vaunuisiin nostureihin kunnonvalvonnasta ohjaukseen. Järjestelmän kustannus kasvaa vaunujen lisääntyessä järjestelmään vain anturivahvistimien sekä kaapeloinnin hinnan takia.

Luvun 4.2 ominaisuuksien lisäksi laite valvoo sillan- ja vaunusiirron jarrutuskerroja, käynnistyksiä sekä ajoaikaa. Näiden raja-arvoja pystytään muokkaamaan kontaktori- tai taajuusmuuttajaohjauksen tarpeiden mukaan. Ajoikalaskurin avulla huolto kohdistetaan myös oikeisiin kohteisiin. Esimerkiksi joissakin

tapauksissa vaunun siirtoa ei juurikaan käytetä, joten silloin huolloissa ei niiden toimintaan tarvitse niin suuresti puuttua.

Nostoköyden tunti-laskuri arvioi raja-arvon avulla köyden käyttöikää kohteeseen sopivaksi. Raja-arvoa voidaan lisätä ensimmäiseen köydenvaihtoon asti, jolloin raja-arvo päivitetään. Nosturin käytön pysyessä samanlaisena köyden arvioitu elinikä pysyy hyvinkin vakiona. Nyt useissa kohteissa on käytössä kalenterikuu-kausiin perustuva vaihto-aika, mikä toimii tuotannon ollessa samanlainen. Tuntilaskurin avulla otetaan huomioon tuotannon kasvu tai taantuma.

Moottoreiden käyttösuhteen avulla saadaan tietoa tuotannon tavasta käyttää nosturia. Jos jokin käyttösuhte on huomattavasti enemmän kuin muut liikkeet, voidaan miettiä mahdollisesti nopeuden lisäämistä nosturiin, jotta työaika säästyy nosturia käytettäessä.

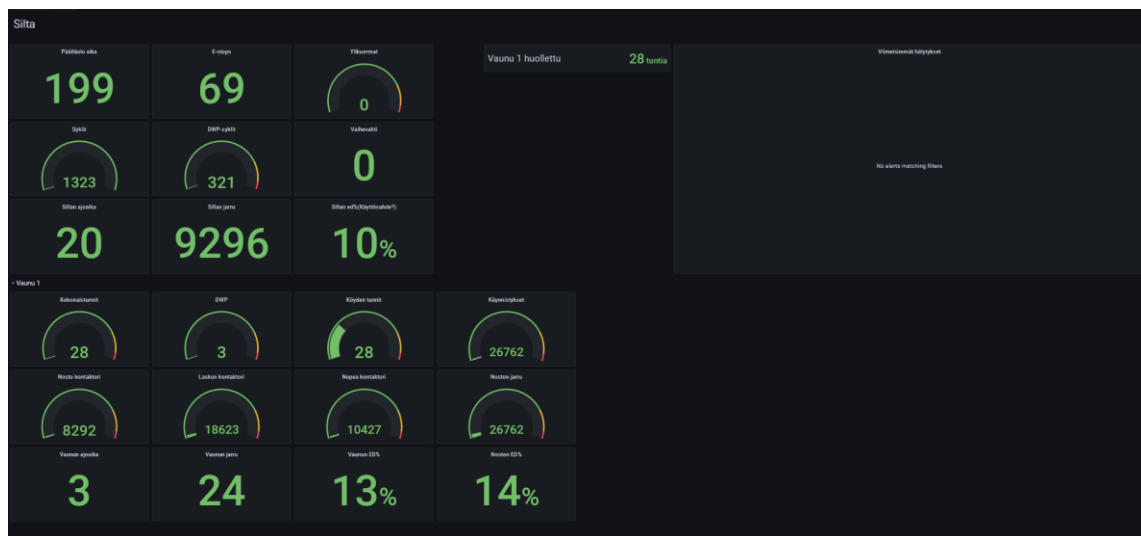
Huoltovälin arvioinnissa käytetään noston ajoaika. Arviointiperusteena käytetään laitteen soveltuvuutta kohteeseen, olosuhteita, kuormituksen raskautta sekä noston ajoaika.

Nosturin rungon nostosyklien ja DWP-syklien määrää lasketaan kaikkien nostovaunujen yhteen lasketun kuorman avulla, jolloin saadaan todellinen rungon rasitus. Laskelman avulla voidaan arvioida nosturin rungon elinkaarta.

Logiikan avulla on mahdollista myös tehdä erilaisia ominaisuuksia nosturin käyttöön liittyen, esimerkiksi erilaisia rajoituksia nosturin liikkeisiin tai nopeuksien lisäämistä nosturin kuorman ollessa pieni, jolloin tuotanto mahdollisesti nopeutuu. Järjestelmään on myös mahdollista lisätä erilaisia hälytyksiä parantamaan nosturin vikojen selvittämistä. Tällaisia hälytyksiä ovat esimerkiksi vaihevahti, taajuusmuuttajan hälytykset, kuorma-anturin viat, lämpötila jne.

### 5.3 Etävalvonta

Järjestelmää voidaan etävalvoa lisäämällä järjestelmään reititin. Etävalvonta tarjoaa asiakkaalle selaimeen pohjautuvan käyttöliittymän, mistä voidaan valvoa nosturin käyttöä sekä tulevia huoltoja. Kuvassa 13 voidaan tarkastella käyttöliittymän näkymää. Järjestelmä tarjoaa myös automaattisen sähköposti-ilmoituksen raja-arvon tai vian ylittyessä. Nämä ilmoitukset on linkitetty myös KP-ServicePartnerin vastuuasentajille. Palvelu avaa automaattisesti huoltotyön KP-ServicePartnerin kunnossapitojärjestelmään.



Kuva 13. Etävalvonnan selainnäkyä.

Etäkunnonvalvonnan suurin hyöty on dynaaminen huoltoväli pohjautuen laitteen todelliseen käyttöön. Noston ajoaikaan perustuvan huoltovälin raja-arvoa voidaan muuttaa nosturin käytön ja olosuhteiden mukaiseksi. Etäkunnonvalvonta mahdollistaa käyttötietojen saannin ennen huoltokäyntiä, jolloin varaosien vaihdot pystytään tekemään huollon yhteydessä. Tämä vähentää huoltokäyntien määrää tehden kunnossapidosta asiakkaalle edullisempaa. Muitakin hyötyjä saadaan mahdollisten vikailmoitusten pohjalta, jolloin huoltoasentaja voi suositella toimenpiteitä jo puhelimestakin. Esimerkiksi vaihevahtivian sattuessa on selvää, että nosturin syötössä on vikaa. Näin ollen asiakas voi itse tarkistaa sulakkeet.



## 6 Kunnonvalvonnan hyödyt ja haitat

### 6.1 Hyödyt

Asiakkaalle kunnonvalvonta mahdollistaa laitteen käyttöön perustuvan kunnossapidon, jolloin laitteen turvallisuus, käyttövarmuus ja kustannukset saadaan optimoitua. WorkMate 2.0 -järjestelmä mahdollistaa myös erilaisten lisäominaisuuksien lisäämisen järjestelmään logiikan hyvän muokattavuuden takia, esimerkiksi lämpötilan mittauksia, erikoisrajoja, nopeussäätöjä. Ne voisivat olla kalliimpia toteuttaa, jos nosturissa ei olisi jo logiikkaa kunnonvalvontaa varten.

Asiakkaalla on myös mahdollisuus ennakoida osien hankinta jo vuosia ennen vaihdon tarvetta, jolloin komponentin saatavuus vikatilanteessa olisi nopeaa ja vian vaikutus tuotantoon mahdollisimman pieni. Jos osat joudutaan tilaamaan kiireellä, syntyy niistäkin ylimääräisiä kustannuksi lähinnä kuljetuksen seurauksena. Asiakkaat myös haluavat tehdä hankintoja pitkällä aikavälillä, jotta suuria kulueria ei synny yhdellä kertaa.

Tarkan valvonnan avulla asiakkaalla on mahdollisuus tarkastella ja ennakoida yhdessä alan ammattilaisten kanssa tulevia huoltoja, modernisaatioita sekä laitteen uusimista. Laitteen modernisaation ja uusimisen yhteydessä nosturitarpeen määrittely on myös helpompaa, koska nosturi voidaan mitoittaa olemassa olevien käyttötietojen perusteella. Näin ollen nosturin hankintahintaa voidaan optimoida oikeilla laitevalinnoilla. Esimerkiksi luvussa 3.2 käsiteltiin sähkölaitteiston modernisaation ajankohtaa, ja kunnonvalvontajärjestelmän avulla laitteen elinkaaren puoliväli on helposti määriteltävissä.

Palvelun tarjoajan näkökulmasta suurimpana hyötynä on mahdollisimman hyvän palvelun tarjoaminen sekä resurssien optimaalinen käyttö vähentyneiden ylimääräisten työkeikkojen ja vikakeikkojen seurauksena. Myyjien on myös mahdollista käyttää jo opittujen käyttötietojen perusteella laitteiden todellista käyttöastetta uusien nostureiden mitoituksessa.

## 6.2 Haitat

Asiakkaalle kunnonvalvontajärjestelmä aiheuttaa lisäkustannuksia nostureiden hankintahintaan. Samalla järjestelmän komponentit lisääntyvät, jolloin rikkoutuvien komponenttien määrä kasvaa. Etäkunnonvalvonnasta syntyy myös kuukausittaisia kuluja järjestelmän ylläpitomaksujen seurauksena.

KP-ServicePartnerille suurimpana haittana on henkilöstön kouluttamisen tarve uuteen järjestelmään. Järjestelmä on kuitenkin luotu mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta sen käyttö olisi mahdollisimman helppoa ja nopeaa.

Kyberuhka on otettu huomioon, minkä takia logiikan viestiliikenne on toteutettu riittävällä määrällä erilaisia salausavaimia sekä TLS-protokollalla (Transport Layer Security).

## 6.3 Esimerkitapaukset

### 6.3.1 Noston kontaktorien vikakorjaus

Ensimmäinen esimerkitapaus on noston kontaktorien vikakorjaus torstai-iltana. Veloitus vikakorjaukselle lähdöstä ilta-aikaan on 350 € suuruisen hälytyskorvaus, matkustusajasta kohteeseen ja takaisin syntyi kuluja yhteensä kaksi tuntia eli 122,3 €, sekä kilometrikorvauksia 145 €. Vianhausta, kontaktorien hankinnasta, vaihtamisesta sekä testauksesta ylityönä syntyi kuluja kolme tuntia eli 296,1 €.

WorkMate 2.0 laskee kontaktorien käyttökerrat, minkä takia kontaktorien vaihtoa olisi suositeltu raja-arvon hälyttäessä. Raja-arvohälytys olisi laskennallisesti tullut ennen komponenttien vikaantumista. Huollon yhteydessä komponenttien vaihdosta olisi veloitettu noin tunti.

Näin ollen vikakorjauksesta tuli lisäkustannuksia 852,25 €. Laskelmassa ei otettu huomioon mahdollisia tuotantomenetyksiä. Kontaktorit löytyivät myös

asentajan autosta. Jos varaosia ei olisi ollut mukana, olisi lasku vielä suurempi. Laskennallisesti kontaktorit olisi voitu vaihtaa kolme kertaa vikakorjauksesta aiheutuneiden kustannuksien hinnalla.

### 6.3.2 Nosturihuollon optimointi tehtaassa

Toinen esimerkkitapaus optimoi tehtaan nosturihuollon tarpeen. Optimoinnissa on käytetty WorkMate 1.0 -järjestelmää sekä laitteessa olevaa tuntimittaria ja DWP-laskuria.

Asiakkaalla on neljä hallia, joissa jokaisessa on samaan tarkoitukseen käytössä oleva nosturi. Halleissa kuitenkin tehdään hieman erilaista tuotetta, minkä seurauksena nostureiden käyttö eroaa hieman toisistaan.

Ennen kunnonvalvontaa vertailussa olevissa nostureissa käytiin neljä kertaa vuodessa huollolla. Noston ajoajat olivat seuraavat: halli 1 47 tuntia, halli 2 23 tuntia, halli 3 347 tuntia sekä halli 4 165 tuntia. Asiakkaalla säilytettiin hallin 3 nosturissa neljä huoltokäyntiä, jolloin huoltokäynnin raja-arvoksi saatiin 85 tuntia. Hallista 1 vähennettiin kolme huoltokäyntiä, hallista 2 yksi huoltokäynti ja hallista 4 kaksi huoltokäyntiä.

Yhteensä siis vähennettiin kuusi huoltokäyntiä. Jos huolloille lasketaan hinnaksi 150 € kappale, on vuosittainen säästö noin 900 €. Tuntiperusteinen huoltokäynti myös ottaa huomioon mahdollisen tuotannon vähenemisen tai lisääntymisen.

### 6.3.3 Nosturin perusteellinen määräaikaistarkastus

Teollisuusnostureihin on tehtävä perusteellinen määräaikaistarkastus lähestyttäessä valmistajan suunnittelemaa rajoja, tai jos nämä eivät ole tiedossa, niin vähintään 10 vuoden välein [2]. Perusteellisen määräaikaistarkastuksen yhteydestä asiakkaan laitteesta löytyi vakavia puutteita noston kytkimestä. Kyseisessä nostinmallissa on sakarakytkin, josta oli pettänyt puolet sakaroista.

Kytkimen tarkoitus on välittää moottorin akselin voima vaihdelaatikolle. Kytkimen pettäessä taakka putoaa vain vaihdelaatikon aiheuttaman kitkan jarruttamana.

Kyseessä oli asiakkaan ainoa nosturi, jonka kapasiteetti oli riittävä nostamaan tarvittavat kappaleet tuotannon jatkumisen kannalta. Laite korjattiin viikonloppua vasten ylityönä. Tarkastuksen, osien ja työn hinnaksi muodostui reilu 20 000 euroa. Uuden kyseisen kokoluokan nostovaunun olisi saanut asennettuna noin 26 500 eurolla. Uuden nostovaunun toimitusaika olisi ollut noin 8 viikkoa, minkä takia uutta nostovaunua ei voitu odottaa.

Laitteen kunnon perusteella laitteen laskennallinen käyttöikä on päättynyt tai on elinkaarensa lopussa. Jos kyseisessä laitteessa olisi ollut alusta lähtien esimerkiksi WorkMate 2.0 -järjestelmä, olisi kunnonvalvonnasta saatujen lukujen valossa laitteen uusimista tai peruskorjausta suositeltu tehtäväksi, jolloin hallitsematonta vikakorjausta ei olisi tarvinnut tehdä.

Kyseisen tapauksen säästöä on vaikea arvioida, sillä vielä ei tiedetä, minkälaisia lisäkustannuksia vanha laite tulee aiheuttamaan, sillä laitetta ei haluttu enää korjauksen jälkeen uusida. Tiedossa ei ollut, minkälaisia kustannuksia laite oli aiheuttanut ennen korjausta. Hyvin suurella todennäköisyydellä viisi vuotta ennen tapahtumaa vaihdettu vaunu olisi maksanut itsensä takaisin.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli luoda ohjelmoitavan logiikan avulla älykäs kunnonvalvontajärjestelmä teollisuusnostureihin kuuluviin siltanostureihin ohjelmoitavien logiikoiden avulla. Työssä tutkittiin nosturin komponentteja sekä niiden elinkaarta valmistajien antamien tietojen sekä nostureista saatujen käyttötietojen perusteella.

Työ aloitettiin kartoittamalla kunnonvalvonta-arvot, joiden pohjalta suunniteltiin järjestelmän komponentit. Komponenttivalmistajia vertailtiin keskenään ominaisuuksien, saatavuuden ja hinnan puolesta. Ohjelmointi aloitettiin sovitun tuotteen pohjalta, minkä tarkoitus oli mahdollistaa modulaarinen ja helppo rakenne ohjelmaan sekä käyttötietojen tiedonsiirron viestintään. Näin järjestelmään on helppoa ja nopeaa lisätä ominaisuuksia sekä asennus tapahtuu sujuvasti. Ohjelmoitava logiikka mahdollistaa tulevaisuudessa uusien ominaisuuksien helpon lisäämisen osaksi WorkMate 2.0 -järjestelmää.

Koska nosturit ovat hyvin erilaisia, kunnonvalvontajärjestelmien määrä on vähäinen eikä kaikkien nosturien kanssa käyttötietoihin voi luottaa, oli raja-arvojen määrittely hankalaa. Raja-arvojen tarkempi datan tutkiminen tulee jatkamaan tulevaisuudessa, jotta kunnossapidon optimointi olisi vieläkin tarkempaa.

Kuitenkin jo tässä vaiheessa tutkitun datan perusteella kunnonvalvontajärjestelmät synnyttävät selviä säästöjä nosturin elinkaaren aikana. Opinnäytetyöstä syntynyt tuote on erittäin hyvin otettu markkinoilla vastaan, joten projekti katsotaan onnistuneeksi. Projekti kehitti myös ammattitaitoani merkittävästi ja näin olen haluan kiittää KP-ServicePartneria hienon projektin mahdollistamisesta.

## Lähteet

- 1 KP-ServicePartner. Verkkoaineisto. KP-ServicePartner. <<https://kp-servicepartner.com>>. Luettu 1.9.2023.
- 2 Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. 2008. 403/2008.
- 3 Siltanosturi. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Siltanosturi>>. Luettu 8.9.2023.
- 4 Mainoskuvat. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kp-ServicePartner Oy.
- 5 AS 7 Wire Rope Hoist. Verkkoaineisto. STAHL crane systems. <[https://www.stahlcranes.com/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/Drucke/Broschueren/br\\_sz\\_as\\_en\\_2108\\_web.pdf](https://www.stahlcranes.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/Drucke/Broschueren/br_sz_as_en_2108_web.pdf)>. Luettu 14.11.2023.
- 6 Sähkömoottori. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6moottori>>. Luettu 15.11.2023.
- 7 FEM 6.682.1986. Selection of lifting motors. Federation Europeene de la Manutention.
- 8 Gears. Verkkoaineisto. Konecranes. <<https://www.konecranes.com/equipment/core-of-lifting/gears>>. Luettu 18.11.2023.
- 9 SR wheel block. Verkkoaineisto. STAHL crane systems. <[https://www.stahlcranes.com/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/Drucke/Broschueren/br\\_kp\\_rb\\_en\\_2203\\_web.pdf](https://www.stahlcranes.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/Drucke/Broschueren/br_kp_rb_en_2203_web.pdf)>. Luettu 1.12.2023.
- 10 Mobilis MOVIT. Verkkoaineisto. SLT Components. <<https://www.sltcomponents.com/node/327>>. Luettu 3.12.2023.
- 11 Enclosed conductor system MKH. Verkkoaineisto. Vahle. <[https://www.vahle.de/fileadmin/cavok\\_upload/Energie%C3%BCbertragung/Sicherheitschleifleitung/Sicherheitsschleifleitung%20MKH/Englisch/Cat\\_04c\\_en\\_Enclosed\\_Conductor\\_System\\_MKH.pdf](https://www.vahle.de/fileadmin/cavok_upload/Energie%C3%BCbertragung/Sicherheitschleifleitung/Sicherheitsschleifleitung%20MKH/Englisch/Cat_04c_en_Enclosed_Conductor_System_MKH.pdf)>. Luettu 6.2.2024.
- 12 Cable carriers for S-track. Verkkoaineisto. Vahle. <[https://www.vahle.de/fileadmin/cavok\\_upload/Energie%C3%BCbertragung/Leitungswagen/Englisch/Cat\\_08a\\_en\\_Cable\\_carriers\\_for\\_S-track.pdf](https://www.vahle.de/fileadmin/cavok_upload/Energie%C3%BCbertragung/Leitungswagen/Englisch/Cat_08a_en_Cable_carriers_for_S-track.pdf)>. Luettu 6.2.2024.

- 13 Typical Bearing Life in Hours. Verkkoaineisto. Engineersedge. <[https://www.engineersedge.com/bearing/typical\\_bearing\\_life\\_14624.htm](https://www.engineersedge.com/bearing/typical_bearing_life_14624.htm)>. Luettu 14.12.2023.
- 14 G.7 Hoist gear units manual. Verkkoaineisto. SEW-eurodrive. <<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/25941488.pdf#ID0EFFHK>>. Luettu 11.2.2024.
- 15 Hytönen, Mika. 2024. Myyntipäällikkö, Fibroc Oy, Helsinki. Keskustelu 24.1.2024.
- 16 TeSys D kontaktori 18A/7,5kW/400V, 32A/AC1, 3s pääkosketinta 1s+1a apukosketinta 230VAC kela. Verkkoaineisto. Schneider electric. <<https://www.se.com/fi/fi/product/LC1D18P7/tesys-d-kontaktori-18a-75kw-400v-32a-ac1-3s-p%C3%A4%C3%A4kosketinta-1s+1a-apukosketinta-230vac-kela/>>. Luettu 10.1.2024.
- 17 Sistema. Versio 2.1.0. 2023. Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance.
- 18 CXT huolto-ohje. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. KP-ServicePartner Oy.
- 19 NXP System Drive Manual. Verkkoaineisto. Vacon. <<https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-NXP-System-Drive-Hardware-Manual-DPD01365B-UK.pdf>>. Luettu 18.12.2023.
- 20 ISO 4301-1.2016. Nosturit. Luokat. Suomen Standardisoimisliitto.
- 21 Crane Life Cycle and Crane Working Levels Under Different Standards. 2021. Verkkoaineisto. Kenancranes. <<https://www.kinocranes.com/crane-life-cycle-and-crane-working-levels-under-different-standards/>>. Päivitetty 9.9.2021. Luettu 18.12.2023.
- 22 CXT huolto-ohje. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kp-ServicePartner Oy.
- 23 SFS-EN 60204-32. 2008. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteistot. Vaatimukset nostokoneille. Suomen Standardisoimisliitto.
- 24 NX1P2. Verkkoaineisto. Omron automation. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/NX1P2-9024DT1>>. Luettu 11.2.2023.
- 25 SFS-EN 15011.2020 Nosturit. Silta- ja pukkinosturit. Suomen Standardisoimisliitto.